

# CALIBRATION OF ROBOTIC ARM USING CAMERA

**Daniel Adámek**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xadame38@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Peter Honec

E-mail: honecp@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The article discusses optimal approach of pose estimation of two independent devices – robot arm and a device with touch screen – to estimate relative position between them, using camera. Methods of precise detection of both devices are introduced as well as iterative methods for pose estimation. In the end, results and possible improvements are presented.

**Keywords:** marker detection, pose estimation, 3D reconstruction, nonlinear iterative method

## 1 ÚVOD

Komplexní aplikace pro zařízení s dotykovým displejem je vhodné testovat i na použitém hardwaru. To ve většině případů znamená zapojení test inženýrů, což je značně nákladná záležitost. Proto firma YSoft pro svou aplikaci správy tisku vyvinula testovací robotický systém sestávající z robotického ramene a kamery, který vykonává testové scénáře klikáním na displej tiskárny a následným vyhodnocením snímků displeje tiskárny z kamery pomocí metod počítačového vidění, a to automaticky. Tento článek se zabývá automatickou kalibrací tohoto systému, která spočívá v nalezení displeje tiskárny ve snímku kamery a ve stanovení relativní pozice tiskárny v souřadném systému robotického ramene, čímž se minimalizuje potřeba zapojení lidských zdrojů.

## 2 ŘEŠENÍ

Po rozboru úlohy jsem zvolil řešení pomocí jedné kamery a značkami osazený displej tiskárny. Ze znalosti modelu markeru a detekovaných bodů na markeru poté stanovuji iterativními metodami vzájemnou polohu kamery a tiskárny. Podobně je robotická ruka osazena kalibrační šachovnicí a stejným přístupem zjištěn prostorový vztah kamera-robot. Z těchto dvou informací je pak dána dohromady relativní pozice tiskárna-robot.

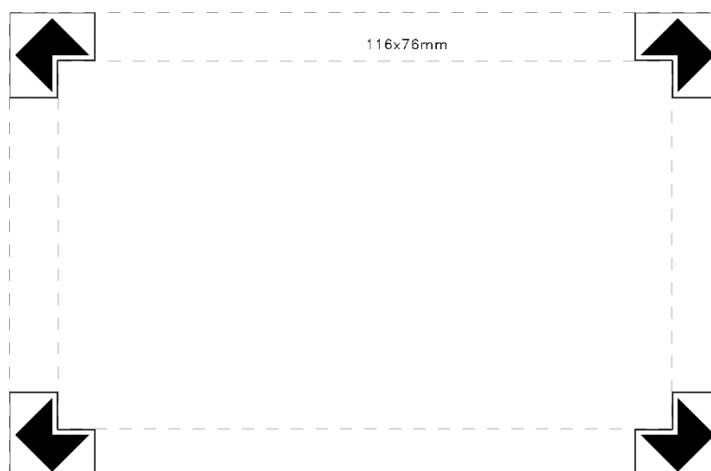
### 2.1 DETEKCE ZNAČKY

Detekce kalibrační šachovnice je již součástí mnoha knihoven a lze ji považovat za vyřešený problém. Vzhledem k přítomnosti mnoha hardwarových tlačítek kolem displeje tiskárny ji však nelze použít, proto bylo zapotřebí navrhnout vlastní značku, jejíž detekce bude jednoduchá pro různé rotace, zkosení apod. a která bude prostorově nenáročná (a stále přesně detekovatelná). Výsledným postupem pro detekci navržené značky je následující

- Opakuj dokud není nalezena značka
  1. Binarizuj obraz pomocí prahu  $p$
  2. Najdi kontury
  3. Pro každou konturu najdi horní, spodní, levý a pravý vrchol
  4. Prolož sousední vrcholy přímkou a spočti vzdálenost bodů kontury od přímek

5. Pokud je maximální vzdálenost pro všechny 4 kontury menší než limit, vrať značku, jinak změň práh  $p$  pro binarizaci obrazu a opakuj
6. Pokud nejsou další hodnoty práhů, ukonči s výjimkou

Následně je ze známého offsetu značky od displeje dopočtena pozice rohů displeje ve snímku.

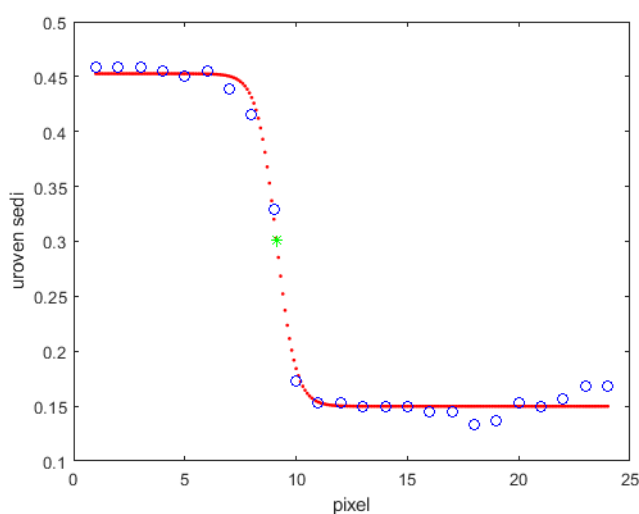


**Obrázek 1:** Navrhnutá značka ve tvaru rámečku, který objímá displej tiskárny. V každém rohu je pak detekovatelný tvar.

Tento postup detekce je dostačující pro nalezení displeje ve snímku pro následné zpracování metodami počítačového vidění, nicméně není dostatečně přesný pro stanovení pozice tiskárny. Pro tento účel je třeba detekci značky zpřesnit pomocí detekce inflexních bodů na hranách v původním šedotónovém obrazu. Nejprve každý řádek pixelů kolmý na hranu proložím logistickou funkcí

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{-k(x-x_0)}} \quad (1)$$

pomocí iterační metody Levenberg-Marquardt. Tuto metodu jsem zvolil kvůli špatně predikovatelnému počátečnímu odhadu. Z druhé derivace položené rovno nule lze pak získat pozici inflexního bodu. Jednotlivé inflexní body na úsečce mezi vrcholy pak prokládám přímkami, jejichž průsečíky poté použiji na odhad s modelem markeru.



**Obrázek 2:** Proložení hrany sigmoidou. Modré body jsou původní data, červené body jsou proložené, zelený bod je inflexní.

## 2.2 3D REKONSTRUKCE

Pro detekované body značky a jejího modelu, stejně jako pro model šachovnice a jemu odpovídající korespondence ve snímku používám iterační metodu Gauss-Newton pro stanovení vzájemné polohy kamera-tiskárna (resp. kamera-robot). Vzhledem k jednodušší určitelnému počátečnímu odhadu, kdy kamera je vždy skoro přesně kolmo nad displejem a ve vzdálenosti přibližně 80 centimetrů, konverguje tato metoda značně rychleji než zmíněný Levenberg-Marquardt.

Hledaným vztahem je projekční matice  $P$  odpovídající

$$x = PX \quad (2)$$

kde  $x$  jsou projekce ve snímku,  $X$  jsou body v 3D prostoru (model). Tedy parametry stanovené iterační metodou jsou úhly natočení  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a prvky translačního vektoru  $t_x$ ,  $t_y$  a  $t_z$ .

## 3 ZÁVĚR

Výše zmíněné metody detekce značky a šachovnice a 3D rekonstrukce byly úspěšně testovány na umělých datech s prakticky nulovou chybou. Problém s detekcí z reálných snímků se ukázal hlavně při určení úhlů rotace. Zatímco chyba určení translace se pohybuje v jednotkách milimetrů pro všechny osy (při vzdálenosti kamery přibližně 80cm, ohniskové vzdálenosti 25mm a rozlišení 1920×1200), určení úhlů se daří pouze s přesností v řádu jednotek stupňů, přičemž toto při zmíněné vzdálenosti způsobuje chybu skoro 14mm posunu na stupeň. Po mnoha testech s různým rozložením značka-šachovnice jsem usoudil, že hlavní chybu způsobují nepřesně určené parametry zkreslení vyšších řádů při kalibraci vnitřních parametrů kamery. Tímto směrem se nyní zaměřuje moje práce na zpřesnění rekonstrukce.

## REFERENCE

- [1] Hartley, R., Zisserman, A.: Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2003, ISBN 0521540518
- [2] Hlavac, V., Sonka, M., Boyle, R.: Image Processing, Analysis and Machine Vision, 2007, ISBN 978-0495082521
- [3] Baštinec, J., Novák, M.: Moderní numerické metody, Vysoké Učení Technické, Brno